

# CONVERSOR DIGITAL-RESOLVER PARA DIGITALIZACIÓN DE SERVOSISTEMAS INDUCTIVOS

H. Nelson Acosta, José A. Marone y M. Carolina Tommasi

*nacosta@exa.unicen.edu.ar, {josemarone, carolinatommasi}@gmail.com*

INCA-INTIA / Facultad de Ciencias Exactas / UNCPBA

Tandil - Provincia de Buenos Aires - Argentina

## CONTEXTO

El grupo INCA trabaja en diferentes líneas de investigación tales como: procesamiento digital de señales, búsqueda de patrones en imágenes, sistemas de tiempo real, sistemas de navegación y sistemas embebidos. Este trabajo integra estos conocimientos, para el desarrollo de un sistema embebido que permita la conversión de señales digitales en analógicas, a través de algoritmos de procesamiento de señales en tiempo real.

## RESUMEN

Este trabajo propone el desarrollo de un sistema embebido que permita la conversión de información digital a señales sincrónicas. El sistema se diseña manteniendo las interfaces y dimensiones de los conversores similares ya existentes, siendo apto como reemplazo de éstos de forma transparente. Por otro lado, se establecen parámetros de configuración del conversor, para que futuros desarrolladores puedan ajustar la calidad de la señal obtenida en función de las características de la unidad de proceso seleccionada. Con el desarrollo propuesto se busca contar con un conversor de bajo costo que pueda ser utilizado como prototipo en la implementación de cadenas sincrónicas, logrando la síntesis digital de una señal sincrónica de alta resolución.

**Palabras clave:** *Sistemas Embebidos, AVR, Microcontroladores, Procesamiento de señales, Servosistemas Inductivos, Tiempo Real.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La expansión tecnológica en el área industrial, militar y robótica ha crecido vertiginosamente a partir de la segunda mitad del siglo XX, dichas áreas están profundamente ligadas con la *teoría de control de sistemas* y son, en mayor o menor medida, dependientes de control de la posición mecánica de diversas piezas. Dichos sistemas son denominados “*Sistemas de control por realimentación*”, Un caso particular de estos sistemas son los “*Servosistemas*” siendo los *inductivos* los más utilizados en el área militar y robótica. Estos sistemas de control, están basados en motores de corriente alterna que transmiten la información del ángulo de rotación, modulando en amplitud una onda senoidal de periodo fijo denominada “*portadora*” [NAI06].

En la actualidad, los servosistemas están siendo digitalizados, consecuentemente ha surgido la necesidad de convertir señales sincrónicas en información digital y viceversa.

El dispositivo a desarrollar permite convertir el valor de un ángulo en formato digital, a su homólogo en formato resolver [NAI06, DDC94]. El módulo resultante puede ser utilizado como prototipo en la implementación de sistemas o para reemplazar a otros de igual funcionalidad en algún sistema de control [DOR04].

El proyecto no tiene requerimientos en cuanto a las tecnologías y/o técnicas a utilizar para el desarrollo; sin embargo, el trabajo propone la utilización de técnicas de síntesis digital para la generación de señales de control [SMT99, EAD99, MAR93], sin tener en cuenta soluciones analógicas puras.

La palabra digital de entrada, que representa el ángulo, debe estar en formato binario con una representación natural; la salida se genera en formato resolver, en fase con la señal de referencia y acondicionada para permitir el acople con los demás elementos de la cadena sincrónica.

En la Figura 1 se muestra un esquema de las entradas y salidas del sistema, viendo al conversor como una caja negra.

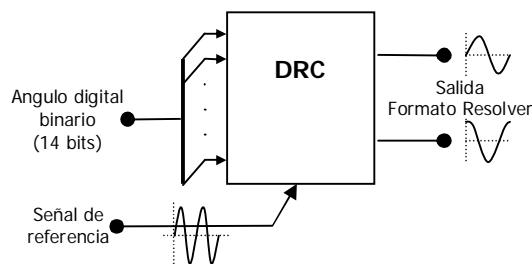


Figura 1 - Sistema DRC

Si bien existen en el mercado dispositivos que realizan tal conversión, son demasiados costosos y difíciles de conseguir, sobre todo cuando el presupuesto es escaso o se está desarrollando un nuevo prototipo. Por lo tanto, se propone como objetivo puntual, el desarrollo de dicho conversor, con una resolución de 14 bits y una exactitud de  $\pm 4$  arc min.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Se trabaja en paralelo con varias líneas de investigación, por un lado el estudio de metodologías para el desarrollo de sistemas embebidos que permita la selección de diferentes ciclos de vida en función de los requerimientos del sistema a desarrollar, por otro lado, el desarrollo de algoritmos de síntesis digital de señales analógicas mediante unidades de proceso de bajo costo (microcontroladores de 8 bits). Por último se analizarán los medios para la digitalización de los sistemas de control inductivos y su aplicación a la robótica.

Los resultados del desarrollo del trabajo constan de dos etapas bien diferenciadas. La primera de ellas es un análisis exhaustivo del problema, que incluye la investigación sobre todos los temas relacionados al sistema (sistemas de control, sincros/resolvers, señales y sistemas embebidos), y el planteo del diseño y las arquitecturas del módulo, junto con las decisiones para la materialización de cada parte del mismo. La segunda etapa constituye la implementación en sí del sistema propuesto.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Los resultados del trabajo fueron obtenidos a través etapas bien diferenciadas por la metodología. La primera de ellas es un análisis exhaustivo del problema, que incluye la investigación sobre todos los temas relacionados al sistema (sistemas de control, sincros / resolvers, señales y sistemas embebidos), el planteo del diseño y las arquitecturas del módulo, junto con las decisiones para la materialización de cada parte del mismo. Mientras que la segunda etapa constituye la implementación en sí del sistema propuesto. Por último, se procede a la integración de los diferentes módulos desarrollados y se comprueba que los requerimientos sean satisfechos.

## 3.1. Análisis - Requerimientos

Los requerimientos para este trabajo, están acotados a la realización de un dispositivo cuya funcionalidad replique a la de los DRC (Convertor Digital-Resolver) comerciales, minimizando principalmente el costo por unidad. Debido a esto, luego de un relevamiento de las especificaciones de los productos del mercado, se determinan las características comunes a todos ellos que deben estar presentes para la materialización del sistema. En la Tabla 1 se listan los principales requerimientos a ser tenidos en cuenta.

| Requerimientos Funcionales                             |                              |
|--|------------------------------|
| Parámetro  | Valor                        |
| <b>Entrada de Referencia:</b><br>Frecuencia<br>Tensión | 400Hz<br>115 Vrms + 20%      |
| <b>Entradas Digitales:</b><br>Formato<br>Tensión       | 14 bits paralelo<br>5V - TTL |
| <b>Salidas Analógicas:</b><br>Formato<br>Tensión       | Resolver<br>5Vrms            |
| <b>Tensiones de entrada:</b>                           | +5v / +15v / -15v            |

Tabla 1 - Requerimientos Funcionales

Además de las especificaciones mencionadas, se considera, a partir del análisis del problema, que existen atributos no funcionales a tener en cuenta. Entre los mismos se considerarán la confiabilidad, la latencia y la modificabilidad.

## 3.2. Análisis - Arquitectura del Sistema

La arquitectura elegida para el desarrollo del problema está basada en microcontroladores, debido que es la que mejor se adapta a las necesidades del sistema. Por lo tanto, el diseño del sistema se plantea teniendo en cuenta las características propias de los sistemas embebidos [BAR06, NOE05, SAS03, CAT02].

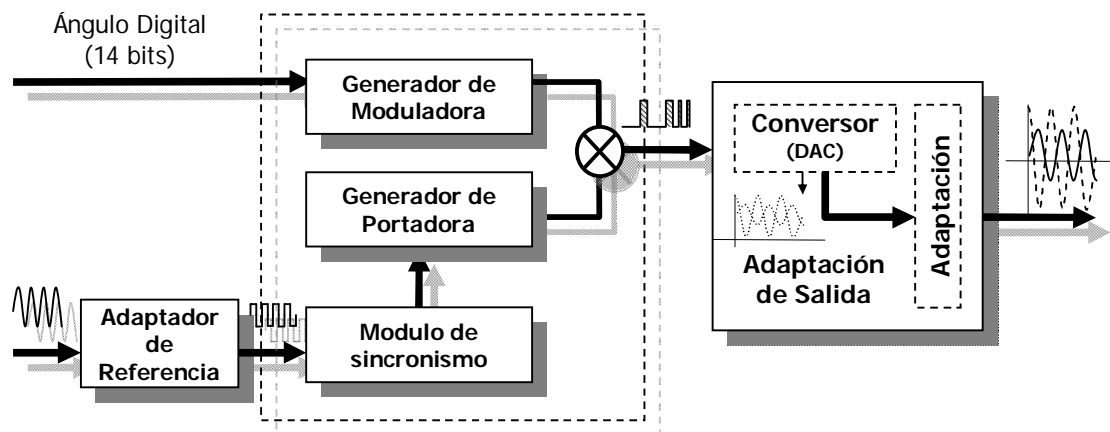


Figura 2 - Arquitectura Final del Sistema

Se debe tener en cuenta que cierta parte de la funcionalidad del módulo a desarrollar se implementa en hardware y el resto utilizando módulos de software. En la Figura 2. se muestra la Arquitectura final del Sistema, en la cual se observan los módulos necesarios para la implementación de la funcionalidad requerida, así como también las señales de entrada y salida con la adaptación necesaria que debe realizarse a las mismas.

Los módulos contenidos dentro de la línea punteada son aquellos que se implementan vía software; mientras que las adaptaciones de entradas y salidas, para lograr los formatos de señales adecuados, se llevan a cabo por medio de dispositivos de hardware. Cabe aclarar que para poder utilizar dichos dispositivos, se deben implementar los controladores de los mismos.

Una vez establecida la partición entre software y hardware de la funcionalidad a desarrollar, se toman las decisiones de los dispositivos específicos a través de los que se materializan dichos módulos. La Tabla 2 detalla los componentes de hardware elegidos.

| Componentes de Hardware |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Dispositivo             | Componente           |
| Microprocesador         | ATmega16 (AVR)       |
| DAC                     | DAC8532 (Serie)      |
| Adaptadores E/S         | Electrónica discreta |

**Tabla 2 - Componentes de Hardware**

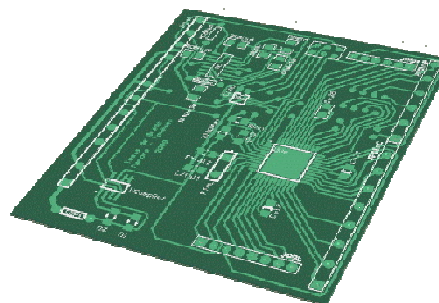
Los módulos a implementar por software son, básicamente, los responsables de la modulación de las señales a través de la cual se realizará la conversión. Para cumplir con los requerimientos de calidad de señales establecidos, debe tenerse en cuenta, en particular, el análisis del tiempo de que se dispone para el proceso completo. En función de ese análisis se toman las decisiones en cuanto a los posibles algoritmos a utilizar para la generación y/o transformación de las distintas señales presentes.

### 3.3. Implementación – Hardware

Esta etapa supone la materialización de los módulos de hardware. Para cada uno de los módulos de hardware surgidos en la etapa de particionado, se implementa y se simula, de manera independiente, la funcionalidad del mismo. Se testea, además, la correctitud de los valores obtenidos utilizando las herramientas de medición necesarias [CAT02]. Una vez comprobada la funcionalidad de todos los componentes, se procede a diseñar y construir el circuito impreso (PCB, Printed Circuit Board) que servirá de base para la integración y testeo del sistema en conjunto. Para construir el PCB se utiliza una herramienta de CAD (Computer Aided Design),

que acompaña el desarrollo del sistema embebido, permitiendo la creación de esquemáticos para su posterior ruteo e implementación.

En la Figura 3 se observa una vista en tres dimensiones del circuito impreso desarrollado.



**Figura 3. Vista 3D del Circuito Impreso**

### 3.4. Implementación – Software

La implementación de software se basa en una arquitectura de capas, dividida principalmente en dos partes bien definidas; por un lado, la implementación de los controladores (*drivers*) de los dispositivos de hardware, y por otro, la de la funcionalidad específica del sistema. Para esta última, los módulos a implementar son:

*Generador de Moduladora:* Este módulo es el encargado de la actualización de los valores de amplitud que modulan la portadora, cuando el ángulo de entrada cambia.

*Generador de Portadora:* Responsable de la generación de una señal senoidal, en sincronismo con la referencia del sistema.

*Generador de Sincronismo:* Encargado de generar el evento necesario para el sincronismo de la señal portadora.

Las decisiones que se deben tomar en esta etapa están relacionadas, principalmente, con la obtención de señales que cuenten con la calidad requerida. Para lograr dicha calidad se debe realizar un análisis de tiempo sobre el sistema para saber cual será la máxima cantidad de muestreos por segundos que se pueden realizar.

Luego de la codificación de cada módulo, se realizan los testeos y simulaciones necesarias para verificar su correcto funcionamiento [BAR06].

### 3.5. Integración

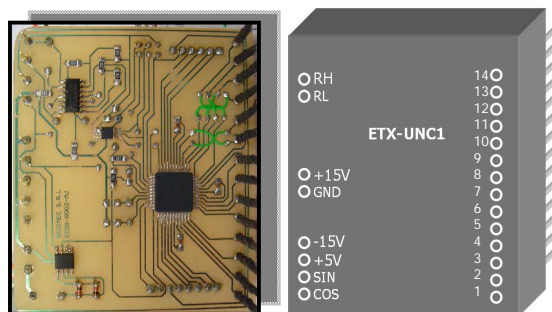
Luego de la implementación y testeo de todos los componentes del sistema (Hardware y Software), se procede a la integración de todos ellos, materializando las interfaces de hardware y de software definidas y ensamblando el sistema completo.

Luego de los ajustes necesarios para que el sistema sea funcional, se verifica que la salida generada esté dentro de los valores requeridos. Para esto se realizan dos tipos de chequeos:

*Verificación de la calidad de la señal:* Se hace un análisis de la distorsión armónica de la señal resultante y se comprueba que la misma, no presenta distorsiones significativas para el contexto donde se utilizara el conversor [EAD99].

*Verificación de la precisión de la señal:* Se crea un banco de pruebas que permite introducir todos los posibles valores de entrada al conversor y compararlos con su salida, graficando la diferencia. Como resultado de este testeo se obtiene un error máximo acotado en  $\pm 7$  arco minutos, valor que se encuentra próximo a los requerimientos especificados [EAD04].

En la Figura 4 se observa la placa final desarrollada y ensamblada.



**Figura 4. Conversor Terminado**

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Durante el desarrollo de este trabajo participaron dos estudiantes avanzados de la carrera (ahora graduados), por el periodo de 6 meses. Del mismo proyecto se realizó la tesina de grado, además uno de los estudiantes se incorporó en una empresa del polo informático donde se aseguró el buen funcionamiento del dispositivo sobre el diseño electrónico. Por último a uno de estos estudiantes se le ha otorgado la beca de posgrado de CONICET para realizar su doctorado.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

[NAI06] North Atlantic Industries Inc. - "Synchro and Resolver Conversion" REV A, edited by John Gasking and the editorial group of NAI Inc, ISBN 0-916550-06-0, 2006.

[BAR06] Michael Barr, Anthony Massa, "Programming Embedded Systems", O'Reilly & Associates, Inc., ISBN: 0-596 -00983 -6, 2006.

[NOE05] Tammy Noergaard, "Embedded Systems Architecture", Elsevier, ISBN: 0-7506-7792-9, 2005.

[DOR04] "Modern Control Systems (10th Edition)".- Richard C. Dorf, Robert H Bishop.- ISBN-13: 978-0131457331.-2004.

[EAD04] Engineering Staff Analog Devices - "Data Conversion Handbook", ISBN-10: 0750678410, ISBN-13: 978-0750678414, 2004.

[SAS03] Sastry, S. Sztipanovits, J. Bajcsy, R. Gill, H. "Special issue on modeling and design of embedded software", Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No.1, january 2003 - University of California, Berkeley.

[CAT02] John Catsoulis "Designing Embedded Hardware".- O'Reilly.- ISBN: 0-596-00362-5.- November 2002

[BAL00] Ball, S.- "Embedded Microprocessor Systems: Real World Design".- ISBN-13: 978-0750672344, 2000.

[SMT99] Steven W. Smith - "Digital Signal Processing", California Technical Publishing, ISBN 0-9660176-7-6, ISBN 0-9660176-6-8, 1999.

[EAD99] Engineering Staff Analog Devices - "A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis", www.analog.com, 1999.

[DDC94] Data Device Corporation - "Synchro and Resolver Conversion Handbook" FOURTH EDITION - Catalog Number: 74-77038 - <http://www.ddc-web.com> 1994.

[MAR93] C. Marven, G. wers - "A Simple Approach to Digital Signal Processing", Texas Instruments 1993. ISBN 0-904-04700-8. Texas Instruments 1993.

[CHE88] C.H. Chen - "Signal Processing Handbook" - ISBN/EAN:978-0-8247-7956-6, 1988.